

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 700 846

(21) N° d'enregistrement national :

93 01011

(51) Int Cl⁵ : G 01 B 7/24, G 01 L 1/12

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 26.01.93.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : BRUGIDOU Vincent — FR.

(72) Inventeur(s) : BRUGIDOU Vincent.

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : 29.07.94 Bulletin 94/30.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du
présent fascicule.

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : Cabinet Lavoix.

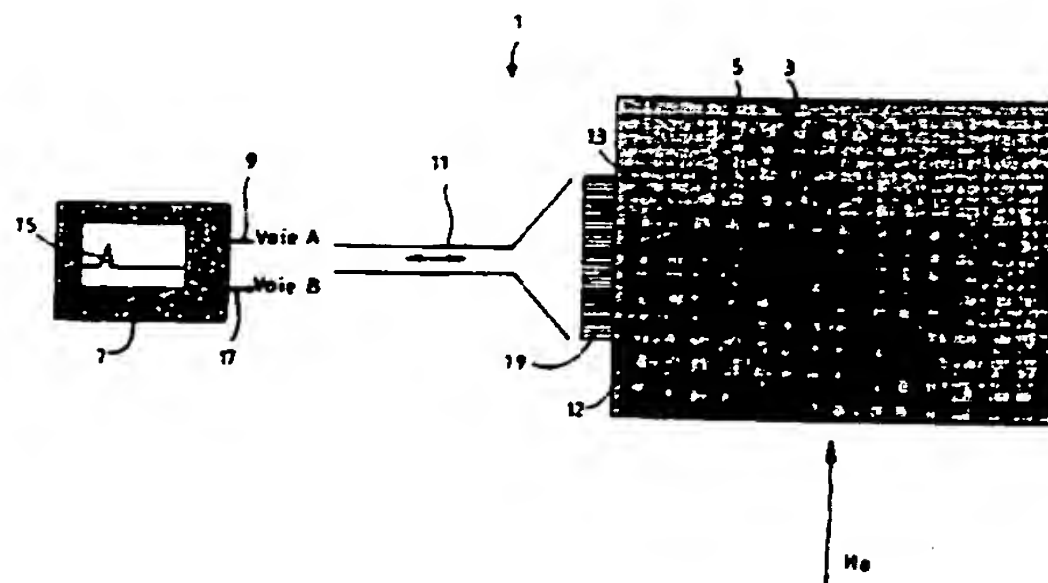
(54) Dispositif de mesure de contraintes ou déformations par résonance ferromagnétique, et procédé de mise en œuvre dudit dispositif.

(57) Le dispositif (1) de mesure de contraintes ou déformations mécaniques dans un milieu (5) comporte:

- au moins un capteur magnétoélastique (3) présentant une fréquence de résonance ferromagnétique ω dépendant des contraintes appliquées audit capteur, lequel est inséré dans le milieu (5) où les contraintes doivent être mesurées;

- des moyens de saturation magnétique dudit capteur (3), produisant la résonance ferromagnétique, et,

- des moyens (11, 19) de couplage du capteur (3) avec un analyseur (7) de fréquences micro-ondes, détectant la fréquence de résonance ferromagnétique ω dudit capteur (3), en fonction des contraintes (T) régnant dans le milieu (5).



FR 2 700 846 - A1



BEST AVAILABLE COPY

La présente invention concerne un dispositif de mesure de contraintes ou déformations mécaniques dans un corps, ainsi que le procédé de mise en oeuvre dudit dispositif pour la mesure de contraintes mécaniques ou de déformations.

Dans de nombreux domaines de l'industrie et de l'instrumentation, il est nécessaire de connaître les contraintes ou les déformations dans les matériaux constituant des organes de machines, de moteurs, de véhicules ou d'appareils en tout genre pour en assurer la sécurité et le bon fonctionnement.

De même, dans le domaine du bâtiment et des travaux publics, il est nécessaire de connaître les contraintes ou les déformations dans les tabliers de routes, de ponts, dans les ouvrages d'art etc.

En particulier, il est souvent nécessaire et préférable de connaître les contraintes mécaniques existant, de façon localisée, à l'intérieur même des organes ou structures mentionnés précédemment. A cet effet, on utilise un certain nombre de capteurs connus dans l'état de la technique, capables de délivrer une mesure "in-vitro" des contraintes existant dans le milieu à surveiller.

On connaît dans l'état de la technique plusieurs procédés de mesure de contraintes utilisant d'une manière générale la mesure d'un paramètre physique dépendant de la contrainte mécanique existant dans le milieu.

Ainsi, on connaît la mesure de contraintes utilisant des fibres optiques. On sait que l'indice de réfraction d'une fibre optique varie sous l'effet d'une contrainte mécanique. Cela se traduit par une variation de l'intensité du faisceau optique que l'on fait circuler dans la fibre, et cette variation d'intensité est utilisée pour la mesure de contraintes existant dans le milieu.

On connaît également dans l'état de la technique, la mesure de contraintes mécaniques par effet piézo-électrique, utilisant la variation de la tension électrique

aux bornes d'un transducteur piézo-électrique, en fonction de la contrainte existant dans le milieu.

Chacune des deux méthodes précitées de l'état de la technique est affectée d'un grave inconvénient. En effet, dans chacun des cas précédents, il est nécessaire de relier le capteur utilisé à un appareil de mesure, par l'intermédiaire d'une liaison filaire : soit par la fibre optique elle-même dans le premier cas, soit par des fils électriques dans le second cas. Ceci entraîne la nécessité d'avoir continuellement accès aux points du matériau où l'on veut effectuer la mesure de contraintes, ou alors de prévoir par avance un réseau de fibres ou de fils électriques noyés dans le milieu. Ceci augmente la difficulté de réalisation et le coût de tels dispositifs de mesure de contraintes.

On connaît également dans l'état de la technique un certain nombre de dispositifs et de procédés pour la mesure de contraintes "in-vitro" ne nécessitant pas un accès matériel aux points précis où la mesure doit être effectuée.

Ainsi, dans le brevet WO-91/00494, il est décrit un capteur de mesure basé sur le fait que la perméabilité magnétique d'un élément magnétoélastique dépend des contraintes mécaniques existant dans cet élément. De ce fait, l'on détermine la perméabilité magnétique relative dans le matériau à l'aide d'un circuit électrique résonant classique du type utilisant une capacité et une inductance. Ce circuit forme un capteur qui peut être simplement attaché à l'objet dans lequel on veut déterminer des contraintes. Le signal de mesure utilise une bande de fréquence de l'ordre de 100 KHz à 100 Mhz et est transmis sans contact à un récepteur pourvu d'une antenne.

Ce type de capteur résout en partie le problème de la nécessité de liaison physique entre le capteur de contrainte et des moyens de réception et d'analyse. Cependant, les fréquences utilisées demeurent relativement

faibles, ce qui limite considérablement la résolution du capteur et le pouvoir de propagation du signal à travers le matériau dans lequel l'on veut déterminer les contraintes. Cet inconvénient est d'autant plus sensible dans le cas
5 d'un matériau comportant une armature métallique, puisque cette armature peut faire office de cage de Faraday et empêcher le signal émis par le capteur d'arriver jusqu'au dispositif de réception.

Par ailleurs, il existe dans l'état de la
10 technique, des capteurs de contraintes utilisant la variation de résonance magnétique nucléaire (R.M.N.) en fonction des contraintes existant dans le milieu. Un tel capteur est décrit dans le brevet US-512 5408, dans lequel le capteur est composé d'une membrane imperméable contenant un gel
15 hydraté par une solution contenant un agent dont les propriétés sont détectables par R.M.N. Le spectre R.M.N., qui peut être analysé sans contact entre le capteur et des moyens de détection, dépend de la pression appliquée sur le capteur.

20 Cependant, ce type de capteur est essentiellement utilisable dans le domaine des applications médicales. Il nécessite la génération d'un champ magnétique très important, en général supérieur à un Tesla, obtenu par l'intermédiaire d'une installation fixe et complexe. En outre, les
25 longueurs d'onde des signaux R.M.N. sont relativement importantes, correspondant à des fréquences inférieures au GHz, ce qui signifie que leur pouvoir de pénétration et leur directivité sont relativement faibles.

La présente invention a pour but de remédier aux
30 inconvénients des capteurs de contraintes selon l'état de la technique, et en particulier de fournir un dispositif de mesure sans contact de contraintes dans des corps, qui soit très directif et qui possède une grande résolution, tout en pouvant être aisément déplacé pour effectuer des mesures de
35 contraintes en différents endroits d'un matériau ou d'une structure.

A cet effet, l'invention concerne un dispositif de mesure de contraintes ou déformations mécaniques dans un corps, caractérisé en ce qu'il comporte :

- au moins un capteur magnétoélastique présentant
5 une fréquence de résonance ferromagnétique ω_r dépendant des contraintes appliquées audit capteur, ledit capteur magnétoélastique étant inséré dans le milieu où les contraintes doivent être mesurées ;
- des moyens de saturation magnétique dudit
10 capteur magnétoélastique, produisant la résonance ferromagnétique, et,
- des moyens de couplage du capteur magnétoélastique avec un analyseur de fréquences micro-ondes, détectant la fréquence de résonance ferromagnétique ω_r dudit
15 capteur magnétoélastique, ou un multiple de celle-ci, en fonction des contraintes régnant dans le milieu.

Selon d'autres caractéristiques du dispositif de mesure selon l'invention :

- le capteur magnétoélastique est constitué d'un
20 échantillon de matériau ferro ou ferrimagnétique.
- Les moyens de saturation magnétiques sont constitués par un aimant permanent en forme de U dont les branches sont situées autour dudit capteur magnétoélastique.

- 25 L'invention concerne également un procédé de mesure de contraintes ou déformations mécaniques, du type utilisant un capteur de contraintes placé dans une structure soumise à une contrainte, caractérisé en ce que l'on utilise la variation de la fréquence de résonance ferromagnétique d'un corps magnétoélastique en fonction des
30 contraintes appliquées audit corps, pour déterminer les contraintes à l'intérieur de ladite structure. Plus précisément, ce procédé est caractérisé en ce que, pour mesurer ladite fréquence de résonance et déterminer
35 lesdites contraintes, l'on :

a) place un capteur magnétoélastique aux endroits de la structure où l'on cherche à déterminer la contrainte,

b) soumet ledit capteur magnétoélastique à un champ de saturation magnétique dans au moins une direction déterminée,

c) détecte la fréquence de résonance ferromagnétique dudit capteur ainsi saturé, à l'aide de moyens d'analyse de l'intensité d'une onde électromagnétique hyperfréquence envoyée vers ledit capteur,

d) calcule les contraintes existant dans ledit milieu à l'aide de la valeur de ladite fréquence de résonance.

L'invention va être décrite plus en détails ci-dessous en se référant aux dessins annexés, donnés uniquement à titre d'exemple et sur lesquels :

- la Figure 1 est une vue schématique illustrant le principe du dispositif de mesure de contraintes et de son procédé de mise en oeuvre selon l'invention.

- La Figure 2 est une vue de détail d'un exemple de capteur utilisé dans la Figure 1.

- La Figure 3 est une vue en coupe d'une structure dans laquelle est intégré un capteur selon l'invention.

- La Figure 4 est une vue schématique représentant la mise en oeuvre du dispositif de mesure selon l'invention.

- La Figure 5 est une vue représentant un capteur selon la Figure 1 ayant une forme particulière.

- La Figure 6 est une vue en coupe d'une structure telle que barrage utilisant le capteur selon la Figure 5.

Fondements théoriques de l'invention.

Le dispositif et le procédé de mesure de contraintes ou déformations selon l'invention sont basés sur la nouvelle utilisation d'un effet physique, à savoir

la variation de la résonance ferromagnétique d'un matériau magnétoélastique saturé par un champ magnétique, lorsqu'un échantillon du matériau est soumis à des contraintes.

Il est bien connu des spécialistes du magnétisme que lorsqu'un corps ferri ou ferromagnétique est soumis à un champ magnétique H_0 suffisant pour le saturer, il se produit un phénomène de résonance à une certaine fréquence ω_r , dite fréquence de résonance ferromagnétique. Cette fréquence dépend notamment du champ magnétique appliqué, ainsi que de l'anisotropie et de la forme du corps. Dans le cas simple où le corps possède la forme d'une sphère isotrope, l'on a la relation suivante :

$$\omega_r = \gamma \cdot H_0 \quad (1)$$

Cette fréquence de résonance est située généralement dans le domaine des micro-ondes ou ondes hyperfréquences, c'est-à-dire des fréquences situées entre 100 MHz et 100 GHz environ. Elle peut être mise en évidence de manière classique à l'aide d'un analyseur de réseau. A cet effet, le corps magnétique est placé dans le trajet suivi par l'onde hyperfréquence émise par l'analyseur. Cette onde est analysée soit en transmission, soit en réflexion, et l'on détecte sur l'analyseur un phénomène de résonance ferromagnétique qui se traduit respectivement soit par un creux, soit par un pic de la courbe donnant l'intensité de l'onde analysée en fonction de la fréquence de l'onde émise par l'analyseur.

Le phénomène de variation de fréquence de résonance ferromagnétique a été décrit en détail par A. B. Smith, dans un article paru dans la revue "The review of scientific instruments", volume 39, n° 3, de mars 1968, pages 378 à 385. Selon cet article, si le corps magnétique utilisé est magnétoélastique, la fréquence de résonance ω_r varie en fonction de la contrainte mécanique appliquée sur ce corps, toutes choses égales par ailleurs.

L'auteur de la présente invention a mis en évidence la relation liant la variation de la fréquence de

résonance, $\Delta\omega$, aux contraintes quelconques appliquées. Ainsi, il a été trouvé que la variation de la fréquence de résonance $\Delta\omega$ par rapport à un état de contraintes initial est une relation linéaire des composantes T_{kl} du tenseur des contraintes appliquées par rapport à cet état initial. Les différentes composantes T_{kl} du tenseur dépendent de la nature et de la structure du corps magnétoélastique utilisé. Par exemple, pour une sphère monocristalline en ferrite de structure cubique et pour un champ magnétique appliqué suivant l'axe cristallin $[1,0,0]$, la variation de la fréquence de résonance est donnée par :

$$\Delta\omega = \frac{3 \cdot \gamma \cdot \lambda_{100}}{M_S} \left(T_{11} - \frac{T_{22} + T_{33}}{2} \right) \quad (2)$$

Dans cette expression, γ est la constante giromagnétique, et vaut 2,8 MHz/Oersted. M_S est l'aimantation de saturation, λ_{100} est l'une des constantes magnétoélastiques d'un corps de type ferrite, qui peut être mesuré par une des méthodes classiques du magnétisme.

En appliquant le champ magnétique H_0 suivant une autre direction, par exemple suivant l'axe cristallin $[1,1,0]$ l'on obtient une autre relation linéaire de la variation de fréquence de résonance en fonction des coefficients du tenseur de contrainte, à savoir :

$$\Delta\omega = \frac{3}{2} \frac{\gamma}{M_S} \left[\lambda_{100} \left(\frac{T_{11} + T_{22}}{2} - T_{33} \right) + 3\lambda_{111} \cdot T_{12} \right] \quad (3)$$

Ces relations linéaires peuvent être établies pour n'importe quel corps magnétoélastique saturé, qu'il

soit monocristallin ou polycristallin, le nombre de constantes magnétoélastiques λ dépendant de la structure du corps.

5 Ainsi, pour un corps de structure hexagonale, quatre constantes magnétoélastiques sont nécessaires, alors que pour un corps du type ferrite polycristallin, une seule constante magnétoélastique sera nécessaire.

10 Compte tenu de ce qui précède, le principe de l'invention consiste à placer un corps magnétoélastique saturé dans un milieu où l'on veut mesurer les contraintes mécaniques. Connaissant les caractéristiques physiques du corps magnétoélastique, et notamment ses constantes magnétoélastiques, et mesurant la variation de sa fréquence de résonance ferromagnétique lorsqu'il est placé dans le milieu par rapport à sa fréquence de résonance ferromagnétique dans un état initial, l'on en déduit la variation des composantes du tenseur de contrainte existant dans le milieu, par rapport à un état de contrainte initial, ou en valeur absolue, si l'état de contrainte initial est une
15 contrainte nulle.
20

 Pour la mise en oeuvre de ce principe, l'invention propose un dispositif tel que schématisé à la Figure 1.

25 Ce dispositif 1 comporte un capteur magnétoélastique 3 disposé à l'intérieur du milieu 5 où les contraintes doivent être mesurées. Bien que tout type de corps magnétoélastique puisse théoriquement convenir, on se référera dans la suite de la description à un exemple de réalisation du dispositif de mesure dans lequel le corps
30 magnétoélastique est composé d'un échantillon de ferrite, notamment en forme de bille, sans pour autant limiter la généralité de l'invention. Le dispositif 1 selon l'invention comporte en outre des moyens (non représentés) de saturation magnétique du capteur, qui peuvent notamment
35 être réalisés sous la forme d'un électroaimant ou d'un aimant permanent, et qui créent un champ magnétique

d'intensité H_0 , schématisé par une flèche. Le dispositif de la Figure 1 comporte par ailleurs des moyens de couplage 11 du capteur magnétoélastique 3 à des moyens pour analyser les fréquences, notamment sous la forme d'un analyseur de fréquence 7. Ces moyens de couplage sont notamment constitués par une antenne (non représentée) et un guide d'ondes 11, qui peut éventuellement se prolonger à l'intérieur du milieu 5 jusqu'au voisinage du capteur 3. Cependant, si le signal réfléchi ou transmis par le capteur est suffisamment puissant, le couplage entre le capteur 3 et l'analyseur 7 peut se faire en l'absence de guidage de l'onde hyperfréquence par guide d'onde. L'analyseur de fréquence 7 est disposé à proximité du milieu 5 contenant le capteur magnétoélastique 3. Il comporte une voie A (9) servant à l'émission d'une onde hyperfréquence en direction du capteur magnétoélastique. Cette onde est en partie transmise, tel que schématisé par 12, et en partie réfléchie, tel que schématisé par 13. Ainsi, le capteur 3 fait partie d'un circuit hyperfréquence constitué de l'analyseur 7, des moyens de couplage 11 et du capteur 3. L'onde réfléchie 13 est captée par l'analyseur au niveau de la voie A, et l'analyseur 7 détermine, de façon classique, la fréquence de l'onde hyperfréquence pour laquelle se produit une résonance. Cette résonance se traduit par un pic 15 de la courbe donnant l'intensité de l'onde réfléchie en fonction de la fréquence de l'onde émise.

L'analyseur 7 peut aussi détecter un multiple de la fréquence de résonance ω_r , par exemple $2 \omega_r$, compte tenu de la non-linéarité présentée par le matériau magnétoélastique lors de la résonance ferromagnétique. Ceci permet de mieux distinguer la fréquence de résonance.

Alternativement, l'analyseur 7 peut comporter une première voie A (9) servant à l'émission de l'onde hyperfréquence, et une seconde voie B (17) servant à l'analyse de la partie transmise de l'onde hyperfréquence.

Pour améliorer le couplage, on pourra prévoir en plus du guide d'ondes 11, un adaptateur 19 connu en soi. L'adaptateur 19 pourra notamment être constitué d'une lame quart-d'onde disposée contre la surface du milieu 5 contenant le capteur magnétoélastique 3. Le milieu 5 dans lequel l'on place le capteur magnétoélastique 3 peut être de toute nature, notamment du béton, même armé. Le pouvoir de pénétration des ondes hyperfréquences étant limité par la dimension du maillage d'une armature métallique éventuelle, on prendra cependant soin de ne pas disposer le corps magnétoélastique à l'intérieur d'une armature métallique continue.

Les dimensions du corps magnétoélastique constituant le capteur 3 peuvent être très petites, de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre, et le faible encombrement de ce capteur permet de le placer dans pratiquement tout type de milieu perméable aux hyperfréquences.

On se réfère à la Figure 2.

Lorsqu'on utilise une bille de ferrite monocristallin pour la réalisation du capteur magnétoélastique 3, il est nécessaire de repérer la direction de l'axe cristallin $[1,0,0]$ de la structure cubique du ferrite et d'appliquer le champ magnétique de saturation dans cette direction, pour que l'équation (2) soit valable. Par conséquent, il est nécessaire de matérialiser les axes x_1 , x_2 , x_3 de la structure cubique afin d'avoir un système d'axes de référence selon lequel appliquer le champ magnétique de saturation. A cet effet, l'orientation de la bille de ferrite 3 peut être facilitée en l'enrobant dans un cube 21 d'un matériau non magnétique à faibles pertes en hyperfréquences, dont les côtés sont parallèles aux axes cristallins x_1 , x_2 , x_3 comme représenté dans la Figure 2. De préférence, le matériau de l'enrobage sera choisi de façon à avoir des constantes d'élasticité proches de celles du ferrite utilisé pour le capteur, de façon à ne pas fausser la détermination des contraintes. La dimension des arêtes

du cube pourra rester aussi petite que possible, par exemple de l'ordre de 5mm.

A noter que dans le cas particulier où l'on utilise pour le capteur magnétoélastique 3 un ferrite polycristallin isotrope, il n'est plus nécessaire d'orienter la bille par rapport au champ magnétique de saturation.

On se réfère à la Figure 3.

Selon ce mode de réalisation du dispositif 1 selon l'invention, la bille de ferrite 3 et son cube d'enrobage 21 sont disposés entre les branches d'un aimant permanent 23 en forme de U. Cet aimant 23 est destiné à fournir le champ magnétique de saturation H_0 dans une direction x_1 , et l'ensemble est disposé à l'intérieur d'un milieu 5 où l'on veut mesurer les contraintes, par exemple à l'intérieur d'un mur en béton. Ce mode de réalisation est particulièrement avantageux lorsqu'il n'est nécessaire de disposer d'un champ magnétique de saturation que dans une seule direction, et lorsque l'épaisseur du milieu 5 dans lequel le capteur 3 est inséré est trop grande pour permettre une saturation magnétique aisée à l'aide d'un champ magnétique généré à l'extérieur du milieu 5.

La Figure 4 représente un exemple du procédé de mesure de contraintes mécaniques mettant en oeuvre le capteur magnétoélastique 3 selon l'invention. Selon ce procédé, l'on utilise la variation de la fréquence de résonance ferromagnétique d'un corps magnétoélastique saturé disposé à l'intérieur d'une structure soumise à des contraintes. A cet effet, l'on place dans la structure, qui peut être une pile de pont 25, un capteur magnétoélastique 3 tel que décrit précédemment, préalablement étalonné, par exemple sous une contrainte nulle. Puis on soumet ledit capteur magnétoélastique 3 à un champ magnétique de saturation H_0 dans au moins une direction déterminée (non représentée), par exemple à l'aide d'un électroaimant 27. Ainsi, les conditions de la résonance ferromagnétique étant réunies, l'on applique audit capteur 3 une onde hyperfré-

quence, notamment par l'intermédiaire d'un analyseur de fréquence 7. A partir de l'onde réfléchie 13 ou de l'onde transmise 11 par le capteur 3, l'on détecte la fréquence de résonance ferromagnétique du capteur 3, ou un multiple de celle-ci, dans le milieu constitué par la pile de pont 25. Puis l'on soumet le capteur 3 à un champ magnétique de saturation dans une direction différente et l'on procède à une nouvelle mesure de la fréquence de résonance. Ces opérations sont répétées autant de fois qu'il y a de coefficients à déterminer dans le tenseur de contraintes. De cette façon, on obtient un système d'équations linéaires dont les inconnues sont les coefficients du tenseur de contraintes à l'endroit où est placé le capteur. La résolution de ce système d'équations donne les composantes T_{kl} du tenseur de contraintes au point considéré.

Le champ magnétique de saturation à appliquer au capteur 3 dépend de la forme de l'élément magnétoélastique du capteur. En effet, l'application d'un champ magnétique de saturation entraîne l'apparition d'un champ démagnétisant. Dans le cas d'un capteur 3 en forme de bille sphérique telle que décrite en relation avec la Figure 3, il faut appliquer un champ magnétique de saturation élevé. Même dans le cas où l'on utilise une bille en YIG (Yttrium Iron Garnett) pour lequel l'aimantation de saturation nécessaire est plus faible, le champ nécessaire reste supérieur à 600 Oersted. L'intensité du champ de saturation nécessaire peut être réduite en adoptant pour le capteur magnétoélastique une forme possédant dans au moins une direction un facteur démagnétisant très faible. Ceci est le cas d'un élément magnétoélastique en forme de disque ellipsoïde plat 29 tel que représenté à la Figure 5. Ce disque 29 est taillé dans le matériau magnétoélastique de façon à ce que son plan contienne une direction de plus facile aimantation du matériau. Dans ce cas, pour saturer le matériau dans cette direction, le champ magnétique nécessaire se réduit au

champ coercitif et pourra pratiquement être supprimé, une fois le matériau saturé.

Le disque ellipsoïde 29 est de préférence en monocristal de YIG substitué au manganèse, réalisé de façon à ce que le plan du disque contienne les axes $[0,0,1]$ et $[1,1,0]$. Dans ce cas particulier, le champ magnétique de saturation est appliqué suivant la direction $[1,1,1]$ qui est une direction de facile aimantation et pour laquelle le champ démagnétisant est nul.

La nécessité d'un faible champ magnétique de saturation permet de mettre en oeuvre le capteur 29 de la Figure 5 en utilisant comme champ magnétique de saturation, le champ magnétique terrestre, tel que représenté par 31 dans la Figure 6. Les capteurs utilisés sont des disques magnétoélastiques 29 de très faible épaisseur, réalisés par exemple à l'aide d'un film de matériau magnétoélastique déposé par épitaxie sur un substrat diélectrique. De tels capteurs 29 sont placés au moment de la construction d'un barrage 33 en différents points de la paroi du barrage 33 de façon à ce que la direction du champ magnétique terrestre 31 soit dans le plan des différents capteurs. Les capteurs 29 sont alors saturés à l'aide d'un aimant dans la direction du champ terrestre, ou directement par le champ magnétique terrestre et, une fois le champ de l'électroaimant supprimé, les capteurs restent saturés dans cette direction grâce au champ magnétique terrestre.

Lorsque le barrage 33 est terminé, l'on peut contrôler l'évolution des contraintes aux différents endroits où sont placés les capteurs 29, en mesurant les changements éventuels de fréquence de résonance ferromagnétique $\Delta\omega$, puis en résolvant en T_{kl} un système d'équations donnant les valeurs de $\Delta\omega$ en fonction des composantes T_{kl} du tenseur de contraintes.

L'utilisation du dispositif 1 de mesure de contraintes mécaniques et du procédé de mesure desdites

contraintes selon l'invention possède plusieurs avantages par rapport aux dispositifs et aux procédés existants.

En effet, compte tenu de l'utilisation de la résonance ferromagnétique, l'on mesure des fréquences de résonance dans une bande de fréquences correspondant aux hyperfréquences. De ce fait, la mesure peut se faire sans aucun lien matériel entre le capteur et les moyens de détection et de mesure des fréquences de résonance, l'acquisition de la mesure et l'énergie nécessaire au fonctionnement du capteur étant transmises par l'onde hyperfréquence elle-même. En outre, compte tenu des fréquences très élevées en jeu, les longueurs d'onde sont de l'ordre du centimètre, ce qui signifie que les mesures de contraintes peuvent se faire avec une haute résolution et un fort pouvoir directif, de sorte à pouvoir mesurer les contraintes pratiquement en n'importe quel point d'une structure. En outre, les contraintes mécaniques peuvent être mesurées de manière non destructive et non invasive.

Par ailleurs comme le fonctionnement des capteurs magnétoélastiques 3 ne nécessite pas de source d'énergie propre, la durée de vie de ces capteurs sera pratiquement illimitée.

D'autre part, comme l'effet utilisé dans la mesure fait intervenir des constantes physiques du matériau du capteur, qui sont reconnues comme invariables dans le temps, il n'y aura pas de dérive en fonction du temps de la mesure effectuée.

Enfin, si l'on procède à l'étalonnage des capteurs magnétoélastiques en mesurant leur fréquence de résonance avant leur implantation dans un milieu à analyser, l'on pourra ultérieurement mesurer dans ce milieu les contraintes en valeur absolue, ainsi que les changements relatifs de l'état des contraintes dans le temps.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (1) de mesure de contraintes ou déformations mécaniques dans un milieu (5), caractérisé en ce qu'il comporte :

5 - au moins un capteur magnétoélastique (3) présentant une fréquence de résonance ferromagnétique ω_r dépendant des contraintes appliquées audit capteur, ledit capteur magnétoélastique (3) étant inséré dans le milieu (5) où les contraintes doivent être mesurées ;

10 - des moyens (23, 27) de saturation magnétique dudit capteur magnétoélastique (3), produisant la résonance ferromagnétique, et,

 - des moyens (11, 19) de couplage du capteur magnétoélastique (3) avec un analyseur (7) de fréquences
15 micro-ondes, détectant la fréquence de résonance ferromagnétique ω_r dudit capteur magnétoélastique (3), ou un multiple de celle-ci, en fonction des contraintes (T) régnant dans le milieu (5).

2. Dispositif (1) de mesure selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit capteur magnétoélastique (3) est constitué d'un échantillon de matériau ferro ou ferrimagnétique.

3. Dispositif (1) de mesure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que
25 lesdits moyens de saturation magnétique sont constitués par un aimant permanent (23) en forme de U dont les branches sont situées autour dudit capteur magnétoélastique (3).

4. Dispositif (1) de mesure selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que
30 lesdits moyens de saturation magnétique sont constitués par le champ magnétique terrestre.

5. Procédé de mesure de contraintes ou déformations mécaniques, du type utilisant un capteur de contraintes (3) placé dans un milieu (5) soumis à une contrainte
35 (T), caractérisé en ce que l'on utilise la variation de la

fréquence de résonance ferromagnétique ω_r d'un corps magnétoélastique en fonction des contraintes mécaniques appliquées audit corps, pour déterminer les contraintes à l'intérieur dudit milieu (5).

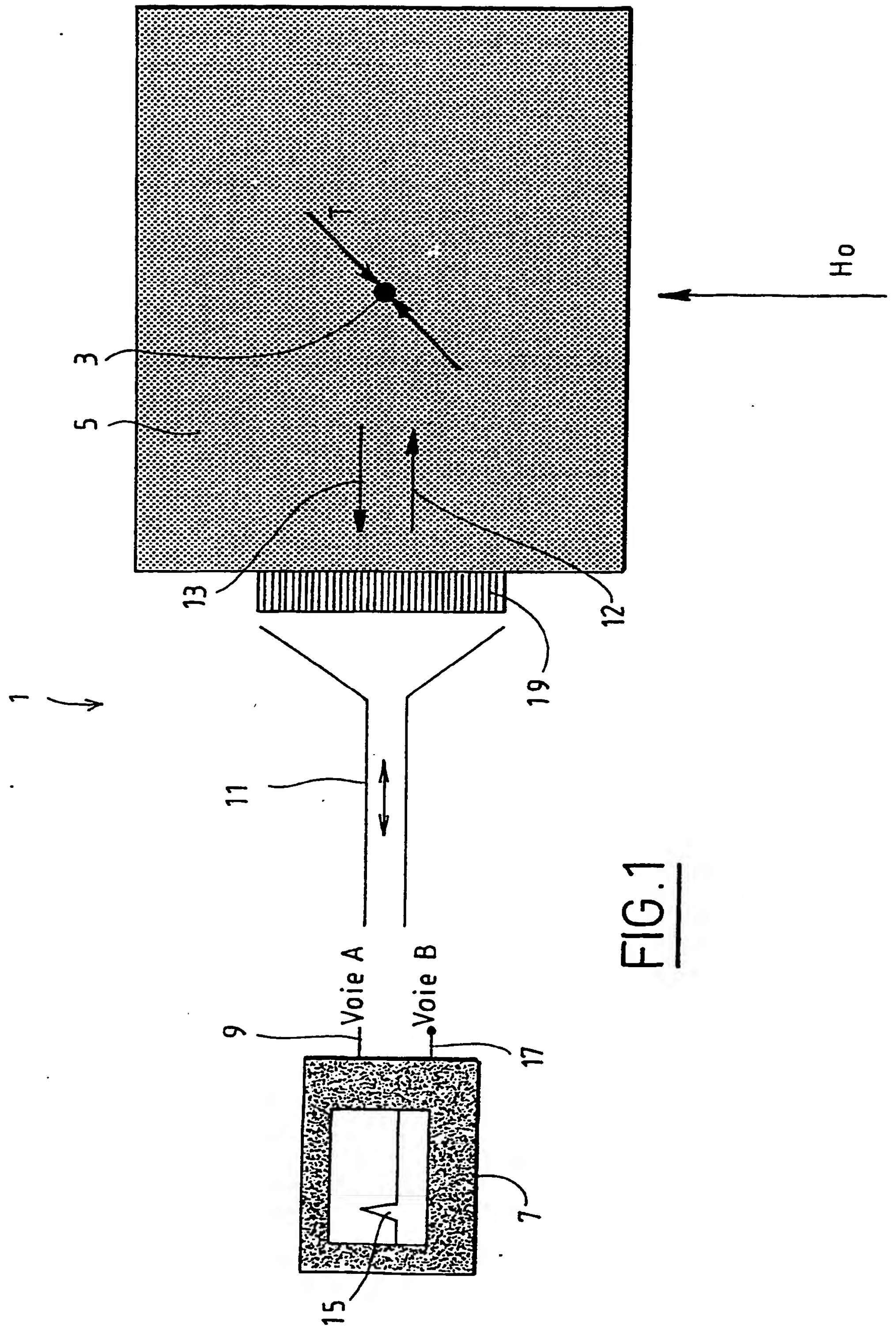
5 6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que, pour mesurer ladite fréquence de résonance ω_r et déterminer lesdites contraintes, l'on :

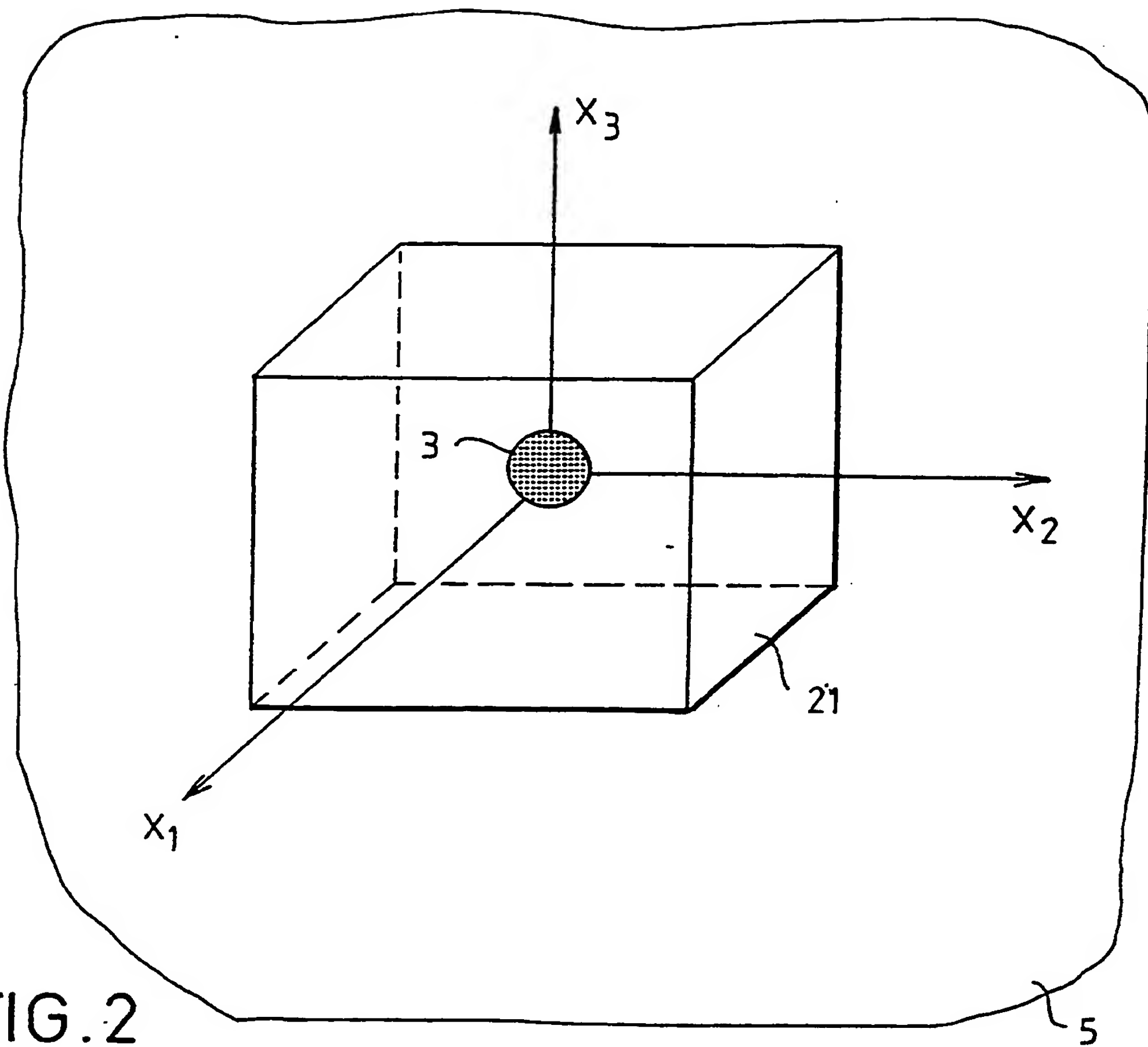
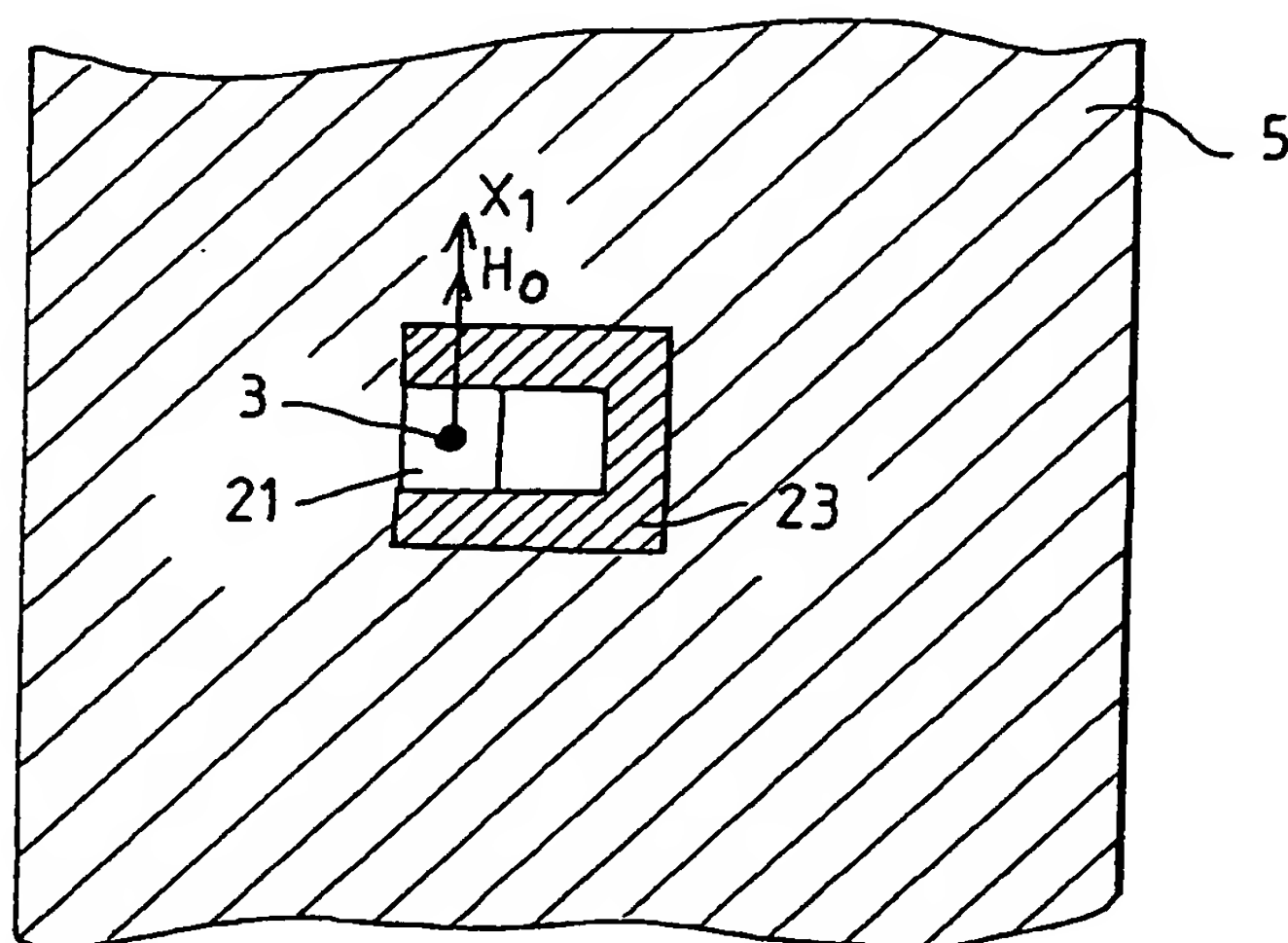
10 a) place un capteur magnétoélastique (3) aux endroits du milieu (5) où l'on cherche à déterminer les contraintes,

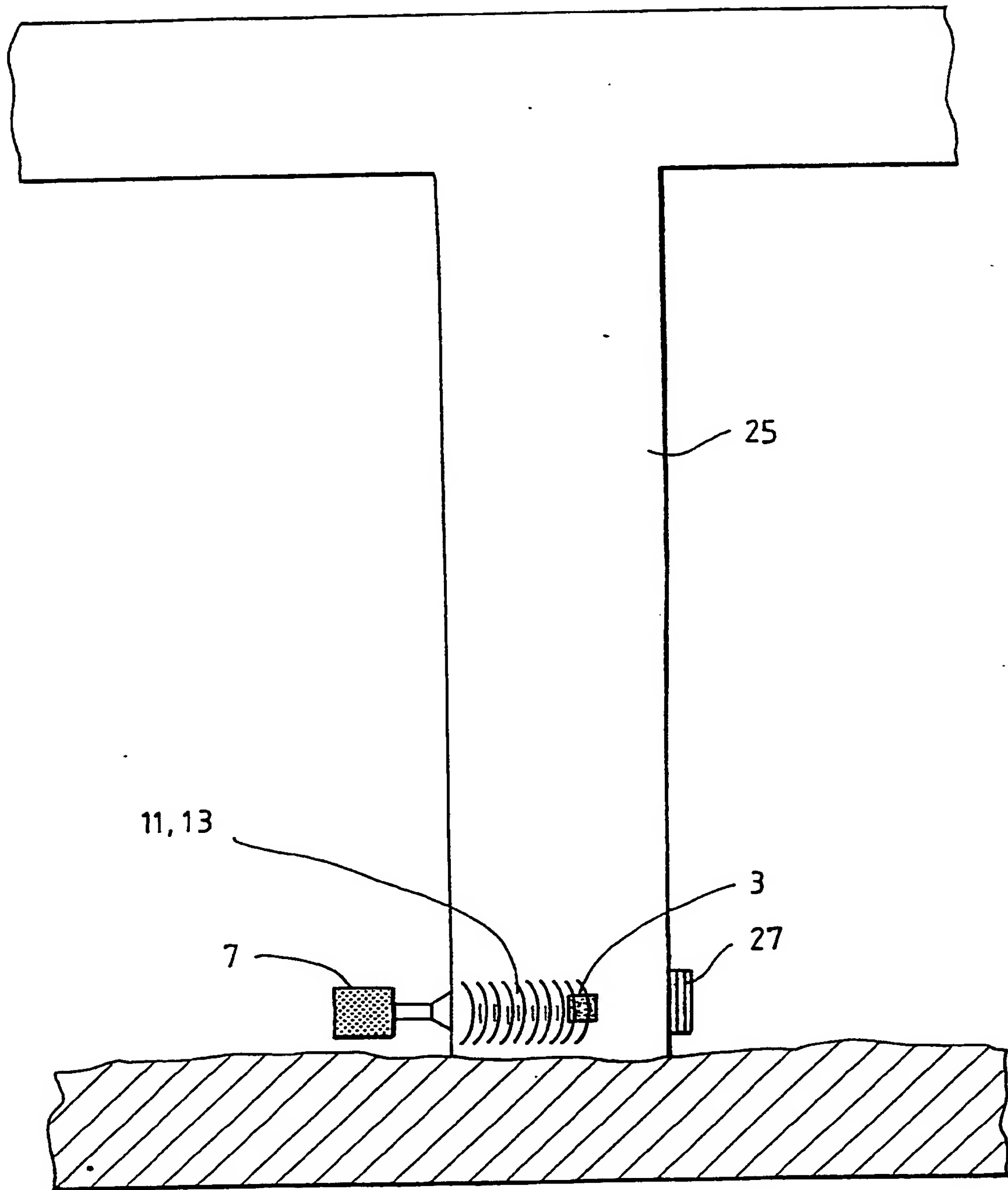
 b) soumet ledit capteur magnétoélastique (3) à un champ de saturation magnétique dans au moins une direction déterminée,

15 c) détermine la valeur de la fréquence de résonance ferromagnétique dudit capteur ainsi saturé, à l'aide de moyens (7) d'analyse d'une onde électromagnétique hyperfréquence envoyée vers ledit capteur (3),

20 d) calcule les contraintes existant dans ledit milieu (5) à l'aide de la valeur de ladite fréquence de résonance ω_r .



FIG. 3

FIG. 4

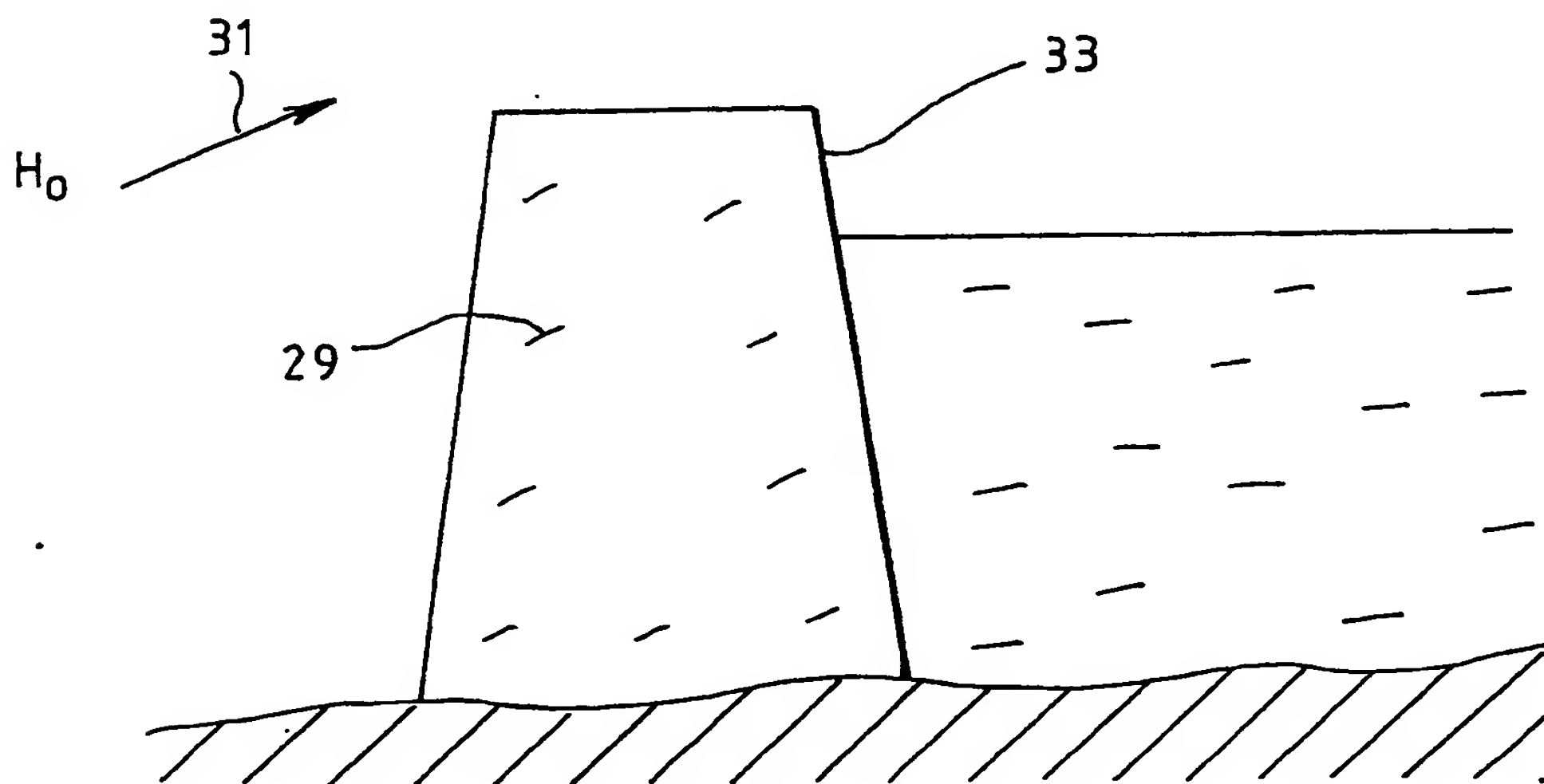
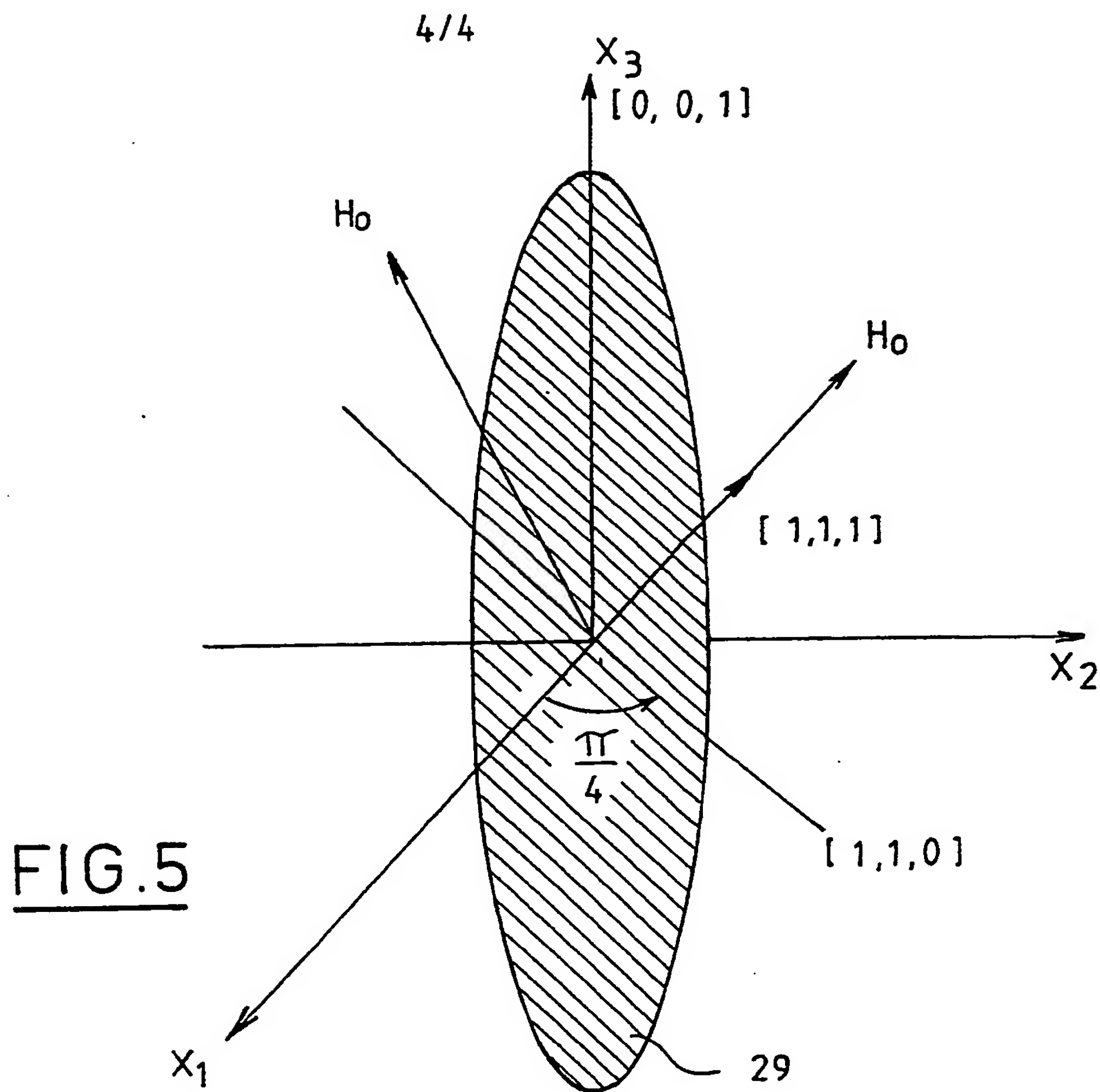


FIG. 6

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLERAPPORT DE RECHERCHE
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la rechercheFR 9301011
FA 484337
PAGE1

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	APPLIED PHYSICS LETTERS vol. 58, no. 5, 4 Février 1991, N.Y. USA pages 546 - 547 D.M. DAGENAI ET AL. 'detection of ferromagnetic resonance in metallic glass by fiber interferometric strain measurement.'	1-3
X	* document entier *	5,6
Y	SOVIET INVENTIONS ILLUSTRATED Section EI, Week 8512, Derwent Publications Ltd., London, GB; Class S02, AN 85-073191 & SU-A-1 109 579 (BELO RAIL TRANSPT.) * abrégé *	1-3
A	SOVIET INVENTIONS ILLUSTRATED Section EI, Week 8617, Derwent Publications Ltd., London, GB; Class S02, AN 86-111775 & SU-A-1 182 286 (MARCHIK II) * abrégé *	1
A	SOVIET INVENTIONS ILLUSTRATED Section EI, Week 8418, Derwent Publications Ltd., London, GB; Class S03, AN 84-112789 & SU-A-1 032 404 (URALS SCI CEN PHYS.) * abrégé *	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 9, no. 227 (P-388)13 Septembre 1985 & JP-A-60 085 344 (SHIMAZU SEISAKUSHO KK) 14 Mai 1985 * abrégé *	1,2
--- -/--		
Date d'achèvement de la recherche 31 AOUT 1993		Examineur DIETRICH A.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		

R **UBLIQUE FRANÇAISE**

2700846

**N° d'enregistrement
national**

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

**établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche**

FR 9301011
FA 484337
PAGE2

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, no. 64 (P-1002)6 Février 1990 & JP-A-12 87 434 (TOYOTA AUTOM LOOM WORKS LTD.) 20 Novembre 1989 * abrégé *	1,2
A	EP-A-0 523 025 (SKF NOVA AB) * revendications 1-25 * ---	1,5
A	US-A-4 030 346 (O. DAHLE ET AL.) * revendications 1-4 * -----	1,5
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
Date d'achèvement de la recherche 31 AOUT 1993		Examineur DIETRICH A.
<div><div>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</div><div>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</div><div>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ~ ~ ~ ~ ~ & : membre de la même famille, document correspondant</div></div>		